

# p-M法とAPI法による 評価の相違とデータ検証

高圧ガス保安協会 小山田

# 本資料の概要

- p - M法とAPI法は同じ減肉を評価したとき、その評価結果は大きく異なる。
- p - M法とAPI法によるそれぞれの評価結果に関して、実験及びFEM解析によるデータとの比較を行った。
- API法は**減肉部に発生する応力を実際の発生応力（FEM等）よりも小さく評価**し、特に円筒容器の内径が大になると顕著になることを確認した。

# 検証事例について

事例① 第5回高度化検討分科会（R3.7.7）資料1-2スライド28  
→本資料で欠陥長さが30mmと300mmの2ケースを検証  
→減肉部の発生応力の影響範囲についても検証した

内半径 $R_i=234.5\text{mm}$   
①-1欠陥長さ30mm  
①-2欠陥長さ300mm

事例② OyamadaらのIJPVP2011論文における比較  
→茨城県実験及びFEM解析結果と比較して、API法の算定応力が  
実際（実験及びFEM解析）の応力に比べて小さいことを指摘

②内半径  
 $R_i=77.4\text{mm}$   
欠陥長さ  
約30mm

事例③ 第7回供用適性評価規格委員会(H20.5.12開催)資料51  
→API法は実際の応力（FEM解析結果）よりも小さく評価する例を  
指摘している。

③内半径  
 $R_i=1000\text{mm}$   
欠陥長さ74mm

# 検証事例について

- 事例① 第5回高度化検討分科会（R3.7.7）資料1-2スライド28  
→本資料で欠陥長さが30mmと300mmの2ケースを検証  
→減肉部の発生応力の影響範囲についても検証した

内半径 $R_i=234.5\text{mm}$   
①-1欠陥長さ30mm  
①-2欠陥長さ300mm

- 事例② OyamadaらのIJPVP2011論文における比較  
→茨城県実験及びFEM解析結果と比較して、API法の算定応力が  
実際（実験及びFEM解析）の応力に比べて小さいことを指摘

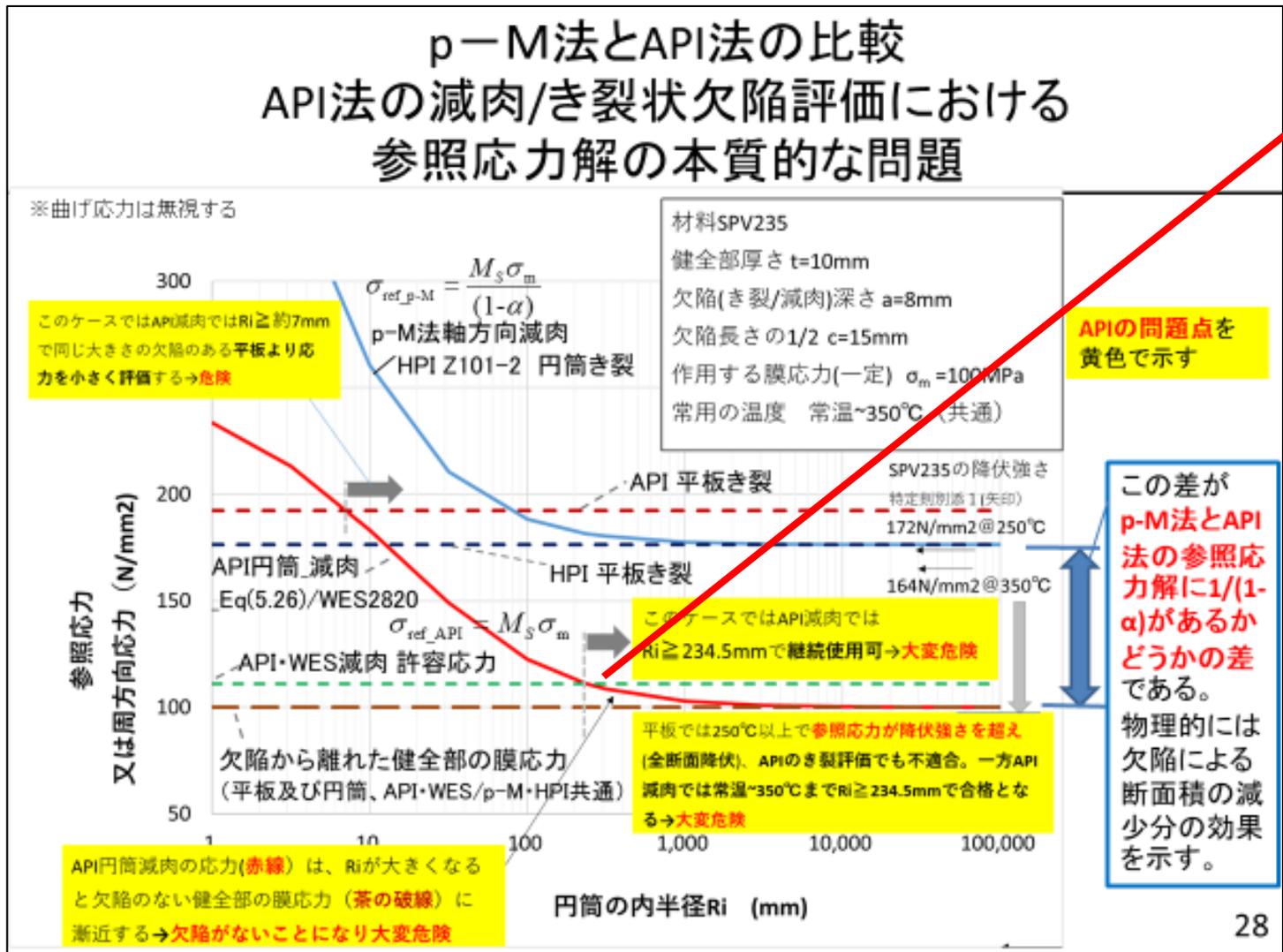
②内半径  
 $R_i=77.4\text{mm}$   
欠陥長さ  
約30mm

- 事例③ 第7回供用適性評価規格委員会(H20.5.12開催)資料51  
→API法は実際の応力（FEM解析結果）よりも小さく評価する例を  
指摘している。

③内半径  
 $R_i=1000\text{mm}$   
欠陥長さ74mm

# 事例① 第5回高度化検討分科会 (R3.7.7)

## 資料1-2スライド28



事例①-1：  
API法で40~350°Cで合格するモデル (RSF=0.9)

事例①-2：  
同じモデルで軸方向欠陥長さについて30mm→300mmとしたモデル( $\lambda=5.63$ )

- 一般炭素鋼 SPV235
- 健全全部厚さ t=10mm
- 容器内半径 Ri=234.5mm
- 減肉深さ a=8mm
- 減肉軸方向長さ  $2c_L$   
= 30mm (①-1)  
= 300mm (①-2)
- 健全全部膜応力(許容応力)  $\sigma_\theta=100\text{N/mm}^2$

# 事例①ー 1 (内半径234.5mm 減肉長さ30mm)

- 各評価法の算定応力(4.14MPa)と実際の応力(FEM 4.2MPa@350°C)

p-M法	API法	FEM解析
181.6N/mm <sup>2</sup>	111.1N/mm <sup>2</sup>	160N/mm <sup>2</sup>

- API法 (WES2820) は減肉部の応力を実際より低く算定
- 規格ユーザが過少評価 (誤認) しないようにする必要有

- API法 (WES2820) の評価：設計圧力(MAWP)4.14MPaで継続使用可能 (40~350°C)  
4.14MPaで周方向応力  $\sigma_c = 111.1\text{N/mm}^2$  (=許容引張応力  $\sigma_{a_{40-350^\circ\text{C}}}/0.9$ )
- p-M法の評価：設計圧力(MAWP)4.14MPaでは使用不可。  
4.14MPaで周方向参照応力  $\sigma_{\text{ref},\theta} = 181.6\text{N/mm}^2$   
40°Cでは3.67MPaで使用可 ( $\sigma_{ys_{40}}/1.5 = 156.6\text{N/mm}^2$ )  
350°Cでは2.56MPaで使用可 ( $\sigma_{ys_{350}}/1.5 = 109.3\text{N/mm}^2$ )

# 事例①ー 1 (内半径234.5mm 減肉長さ30mm)

減肉円筒容器のFEM解析

材料：SPV235

降伏点 (特定則別添1：SPV235) : 164MPa@350℃、 235MPa@40℃

内半径：234.5mm

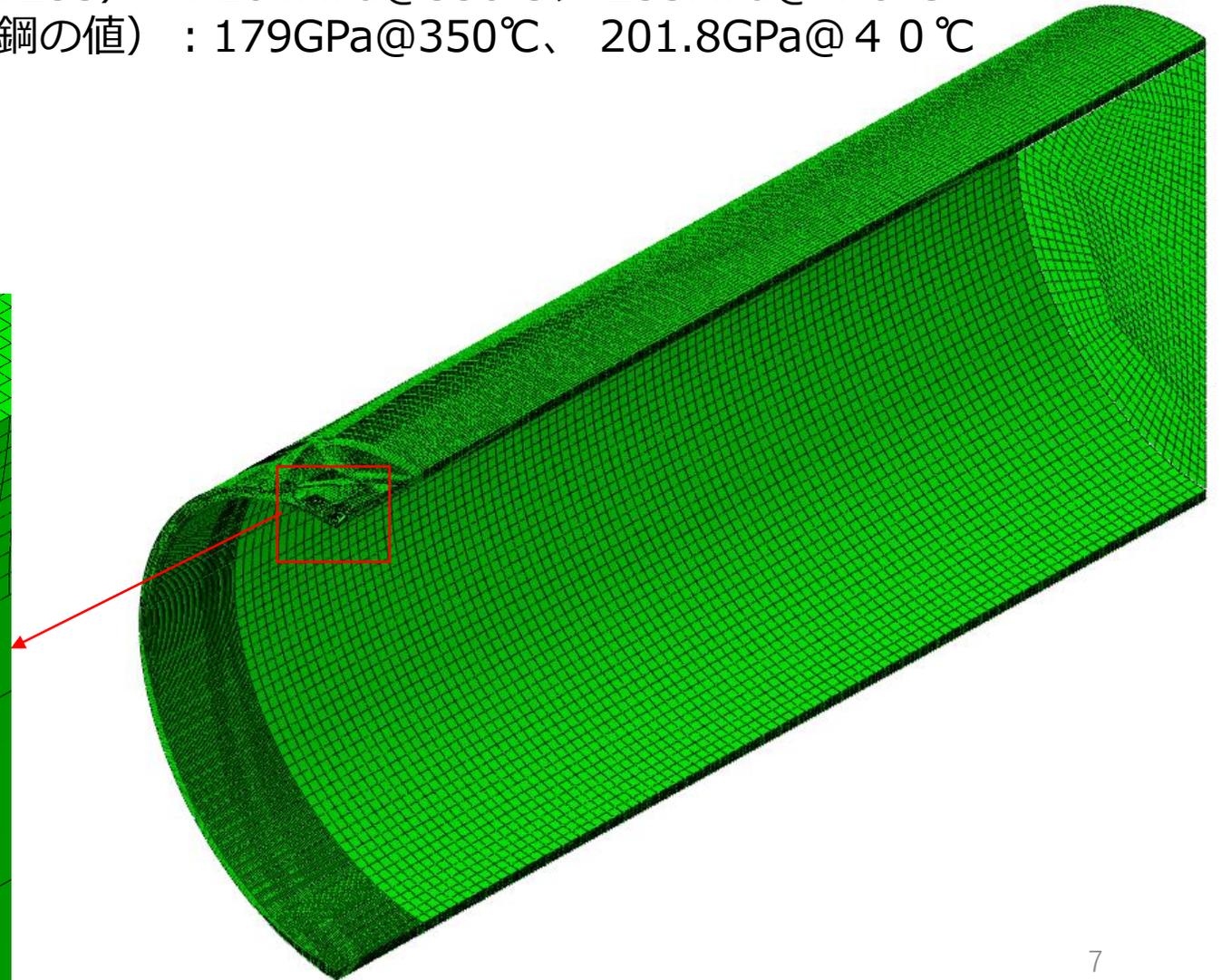
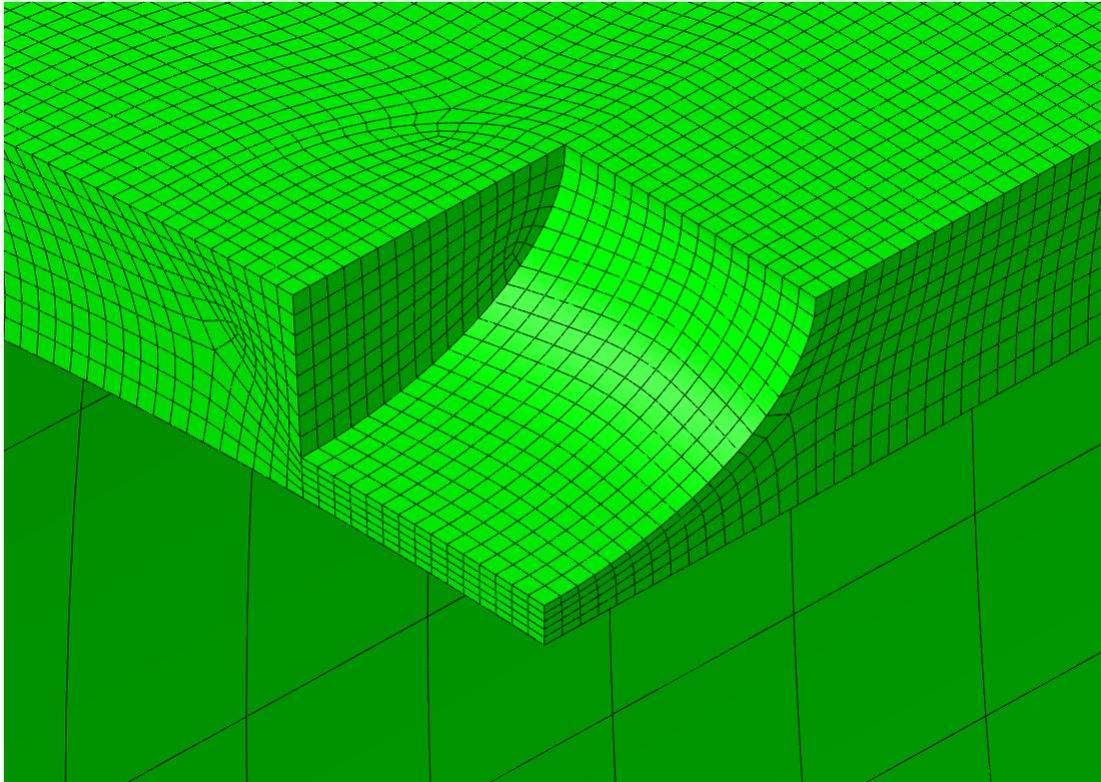
縦弾性係数 (特定則の炭素鋼の値) : 179GPa@350℃、 201.8GPa@40℃

健全部厚さ：10mm

欠陥深さ (半楕円) : 8mm

欠陥長さ (軸方向) : 30mm

欠陥横幅 (周方向) : 30mm

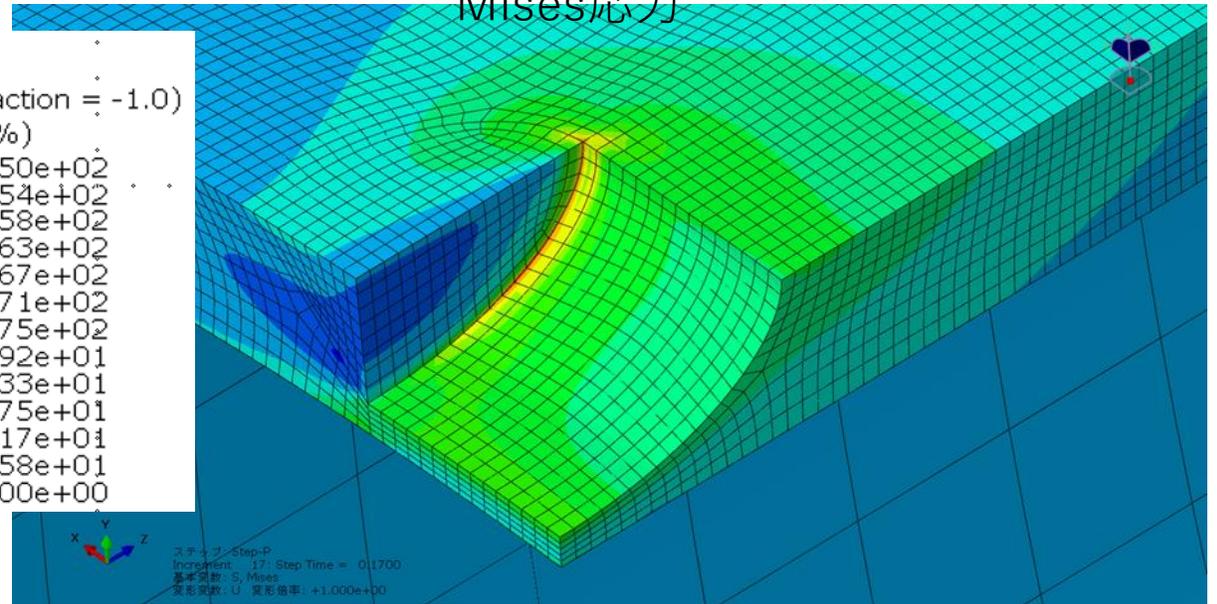
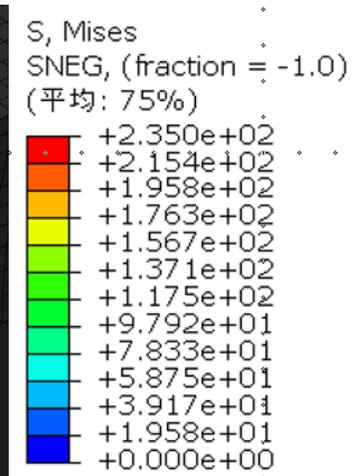
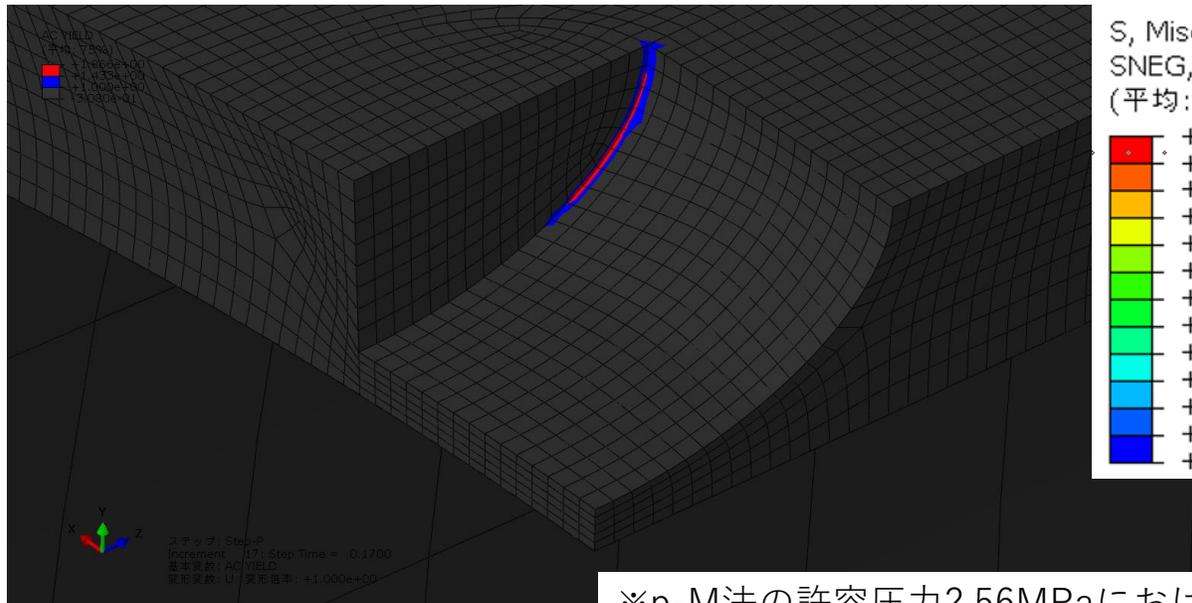


# 事例①-1

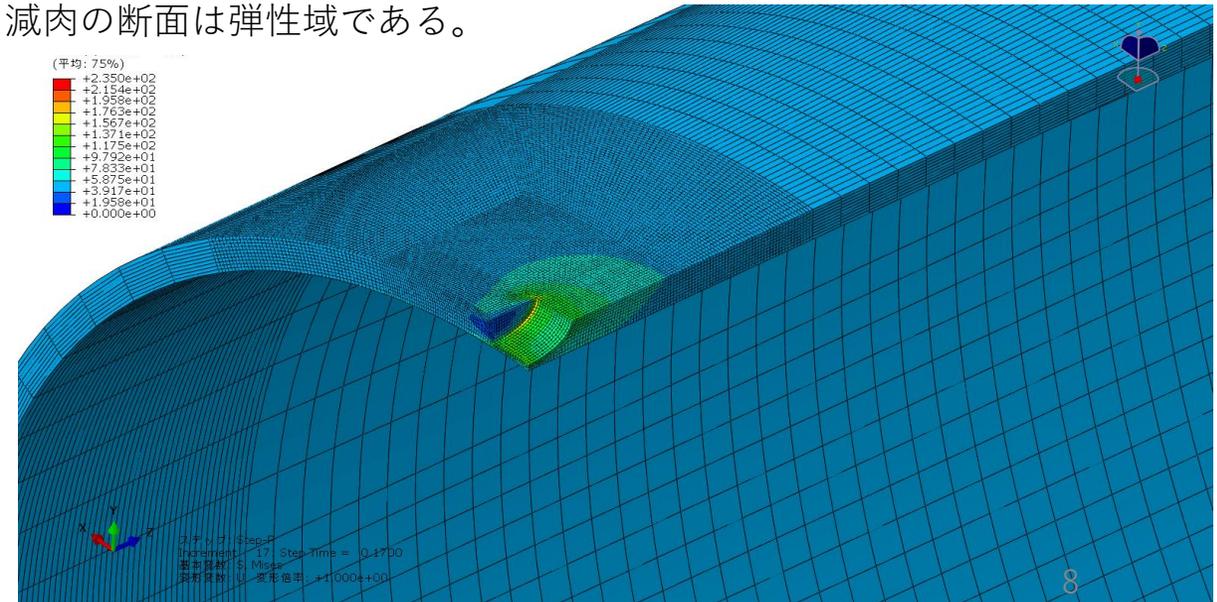
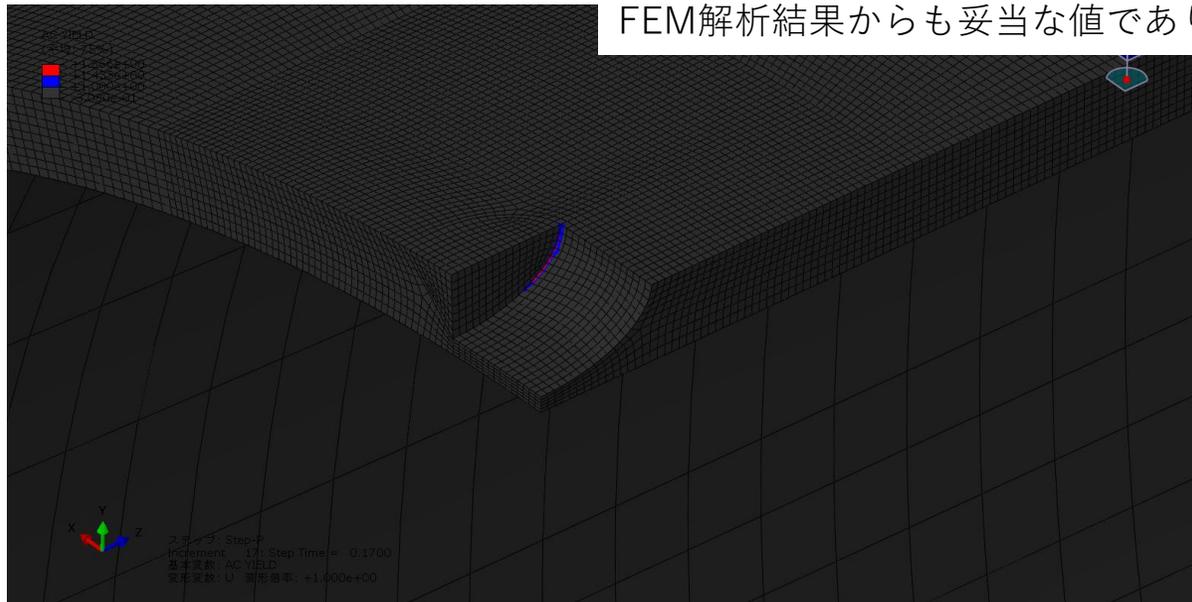
350°C 内圧P=2.55MPa (PM法allow=2.5MPa)

塑性域 (青色)

Mises応力



※p-M法の許容圧力2.56MPaにおける参照応力109.3N/mm<sup>2</sup>は、FEM解析結果からも妥当な値であり、減肉の断面は弾性域である。

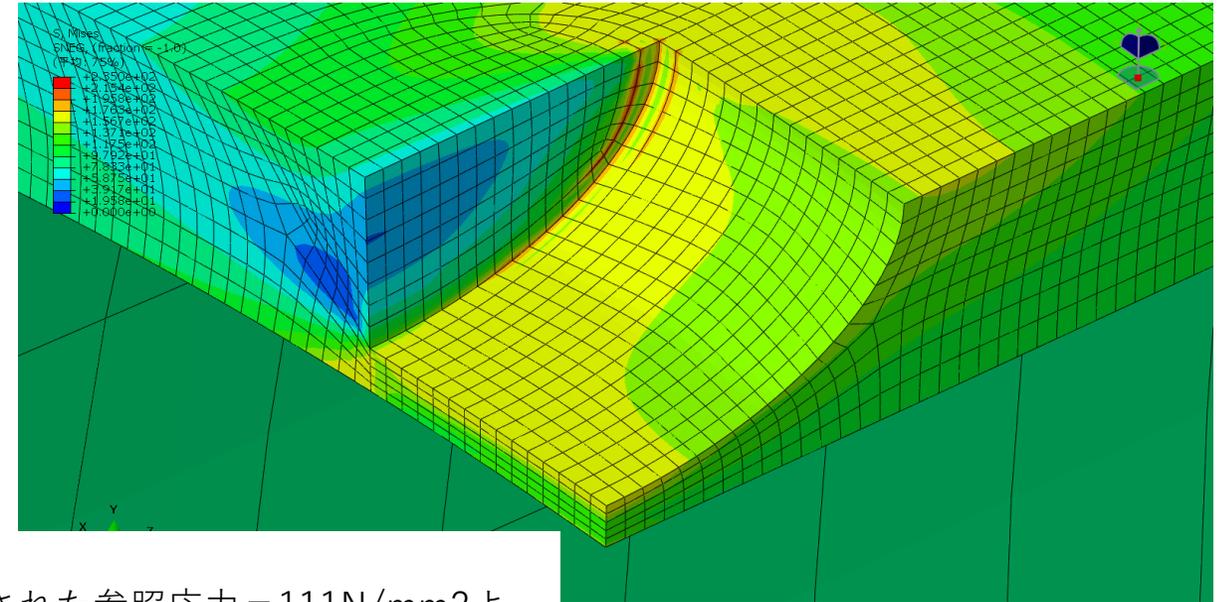
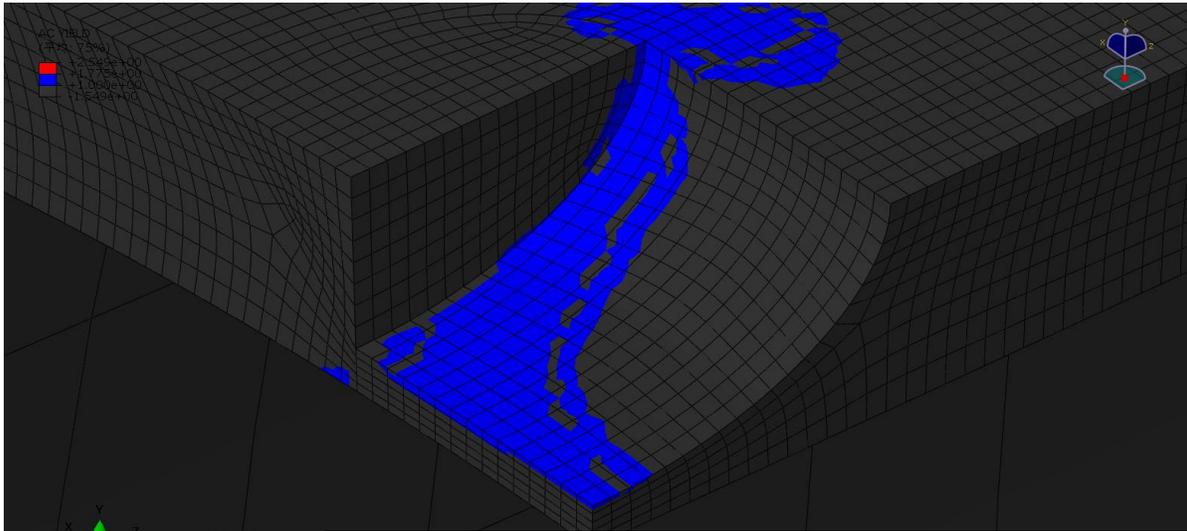


# 事例①－1

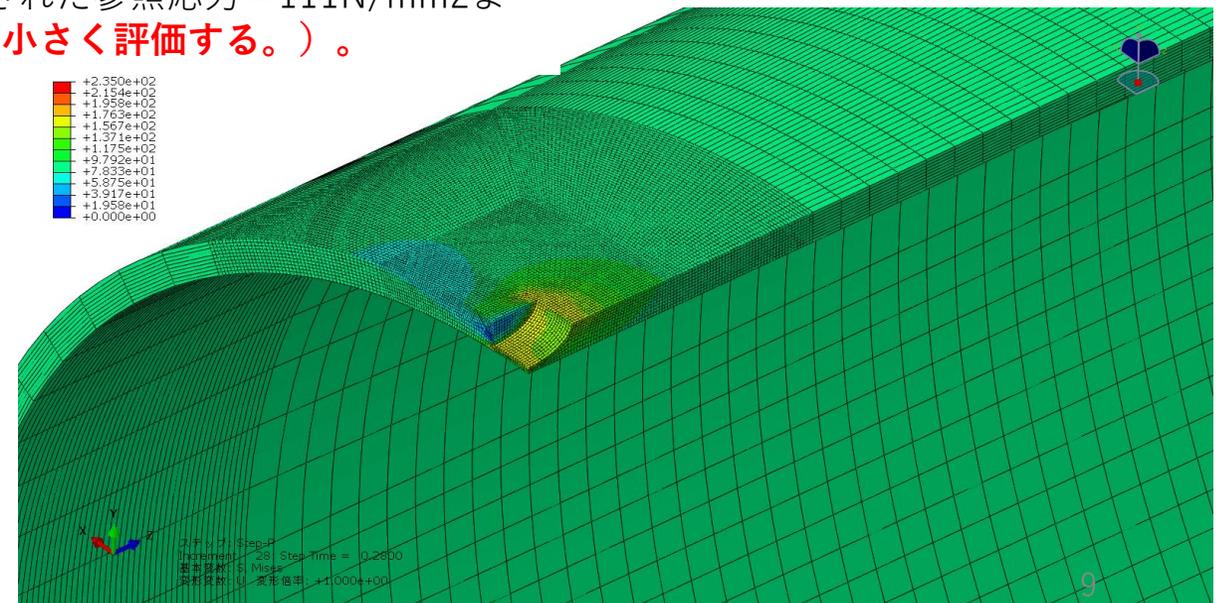
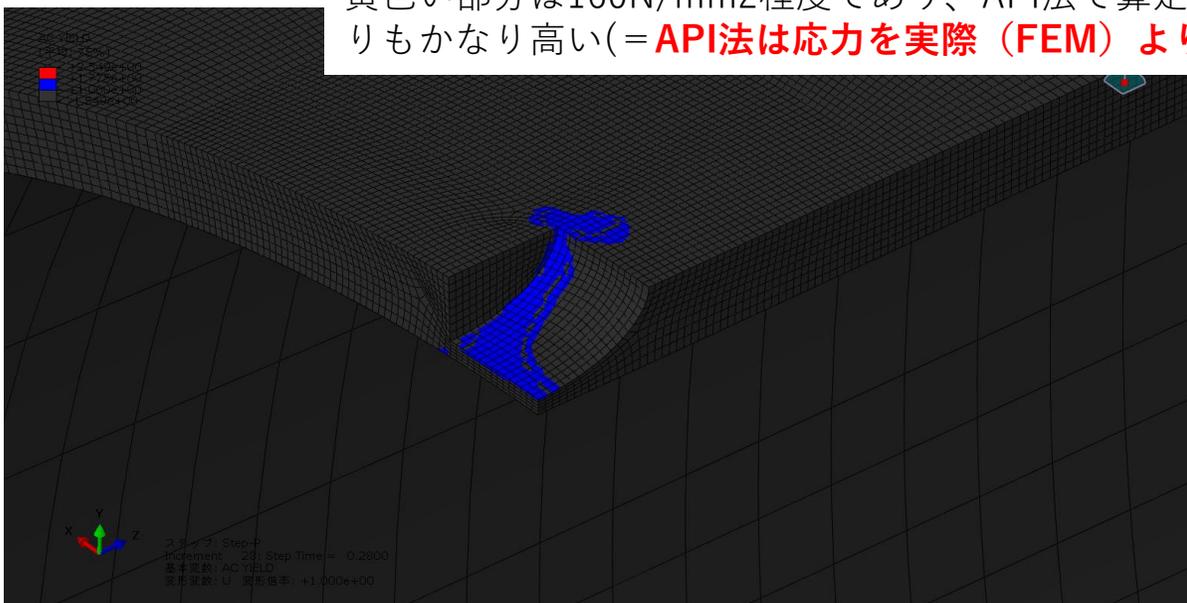
350°C 内圧P=4.20MPa (API法MAWP =4.15MPa)

塑性域 (青色)

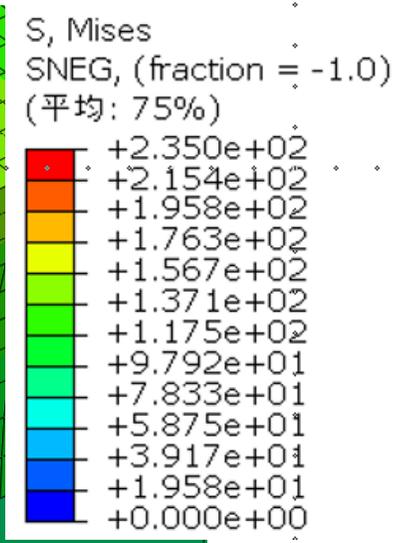
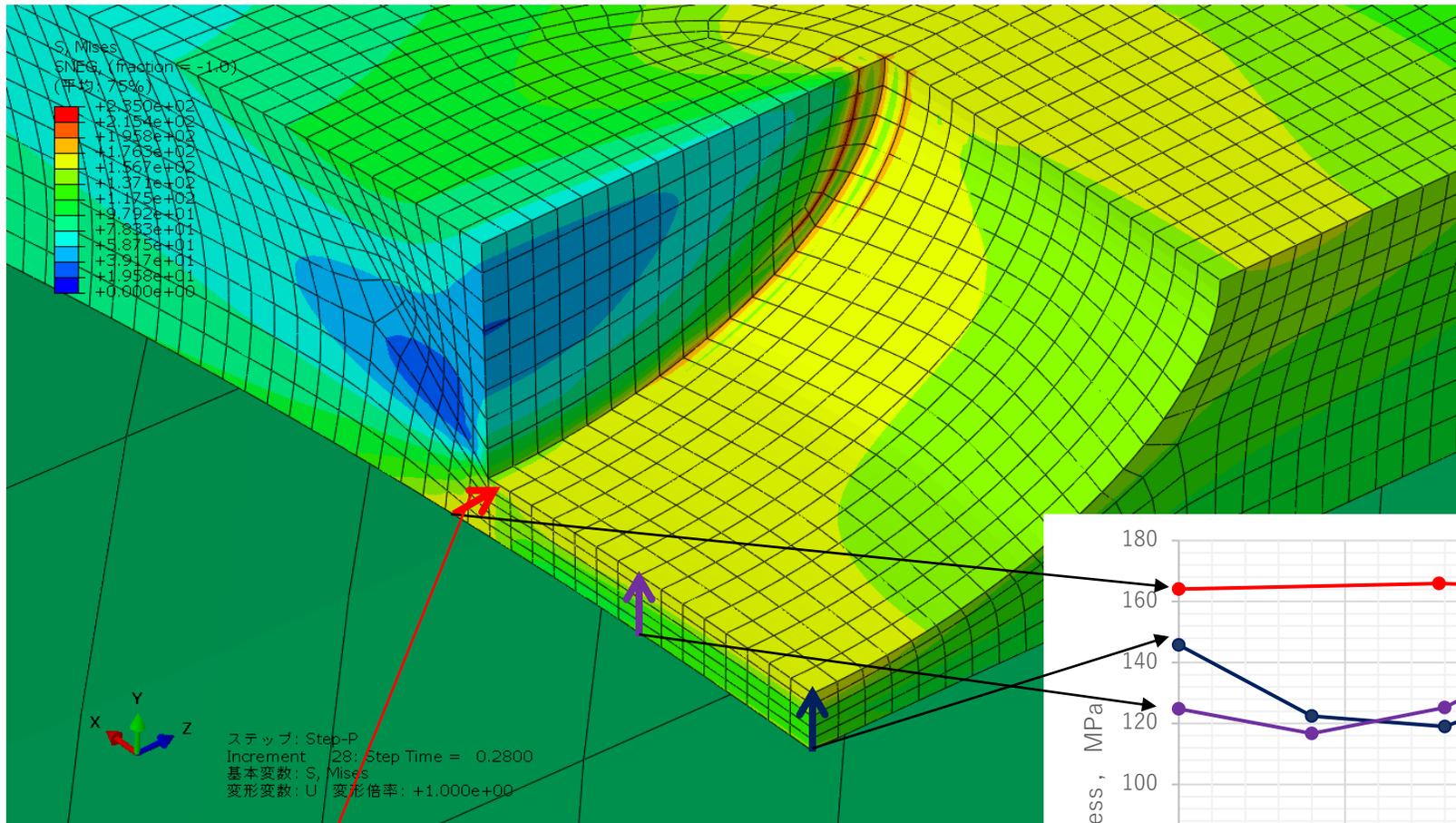
Mises応力



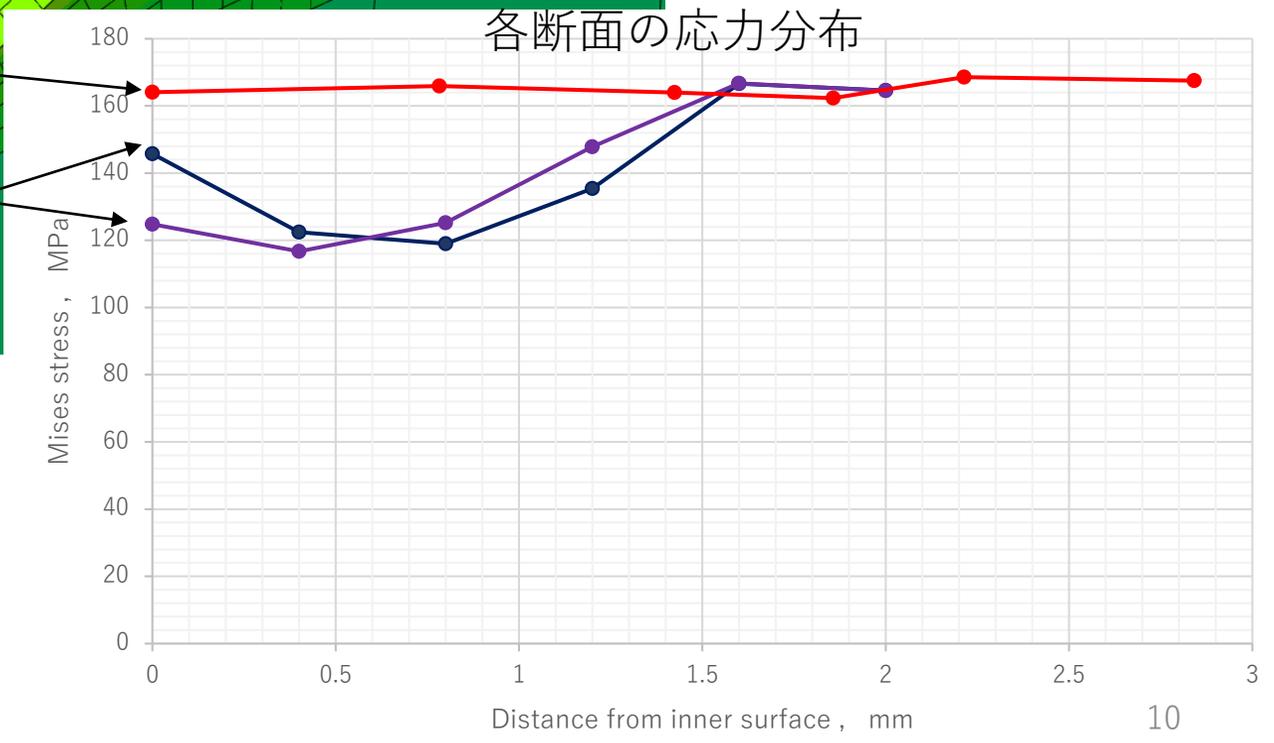
※減肉部表面近傍は塑性変形が進行している。  
黄色い部分は160N/mm<sup>2</sup>程度であり、API法で算定された参照応力=111N/mm<sup>2</sup>よりもかなり高い(=API法は応力を実際 (FEM) より小さく評価する。)



事例①-1 350°C 内圧P=4.20MPa (API法MAWP=4.15MPa)

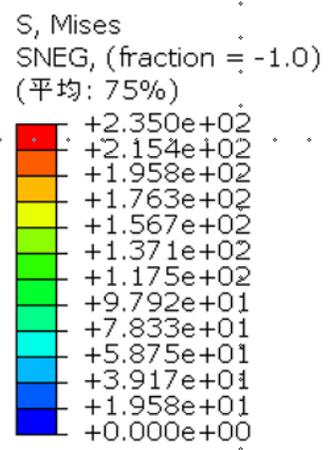
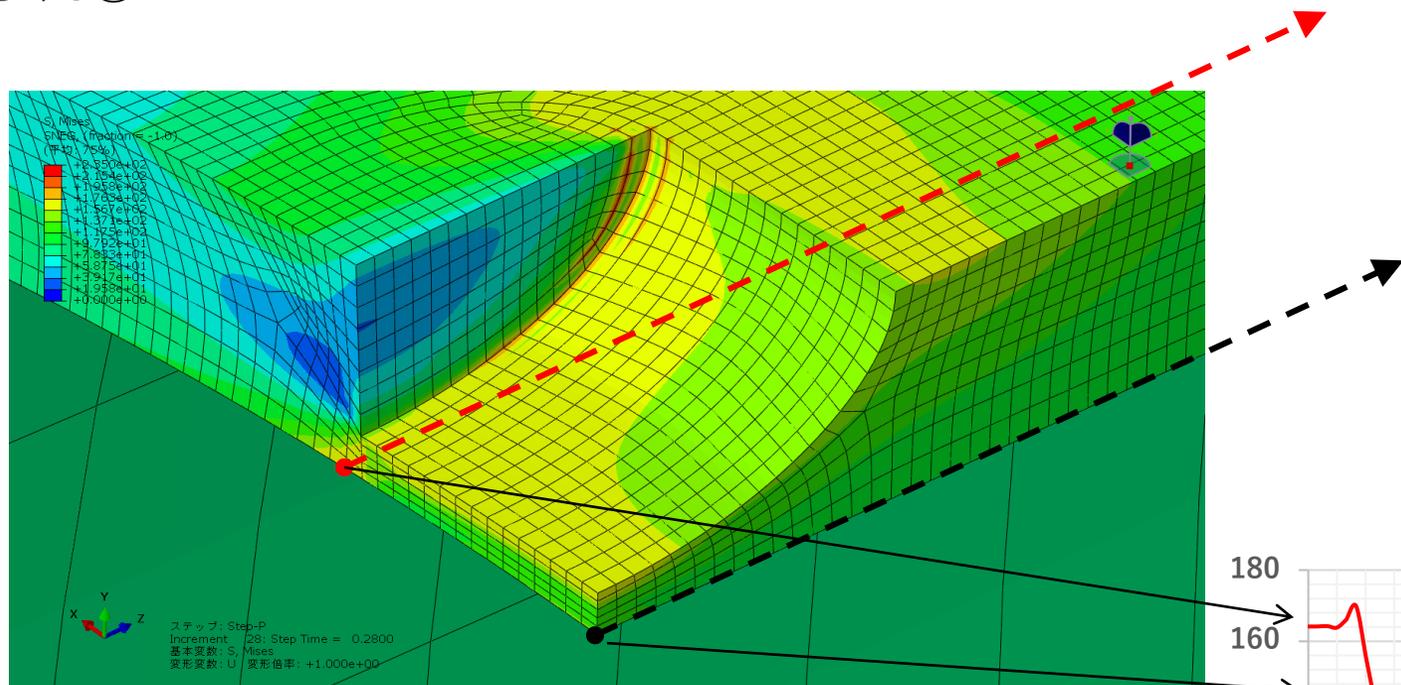


各断面の応力分布

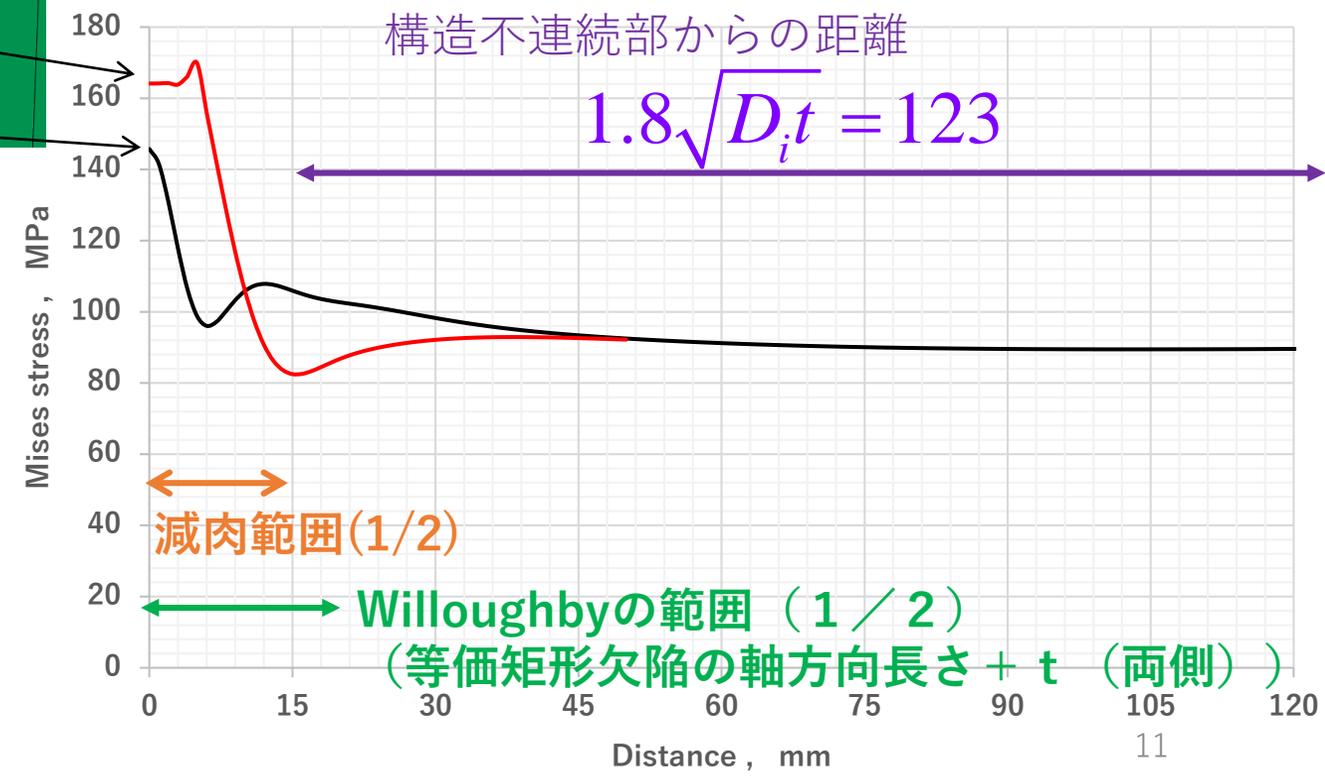


全断面にわたり160N/mm<sup>2</sup>以上

事例①-1 350°C 内圧P=4.20MPa (API法MAWP=4.15MPa)

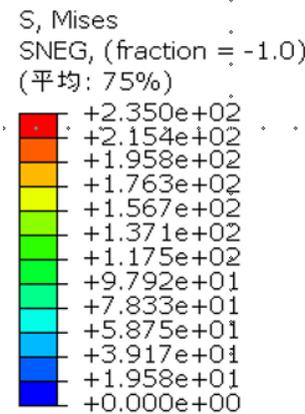
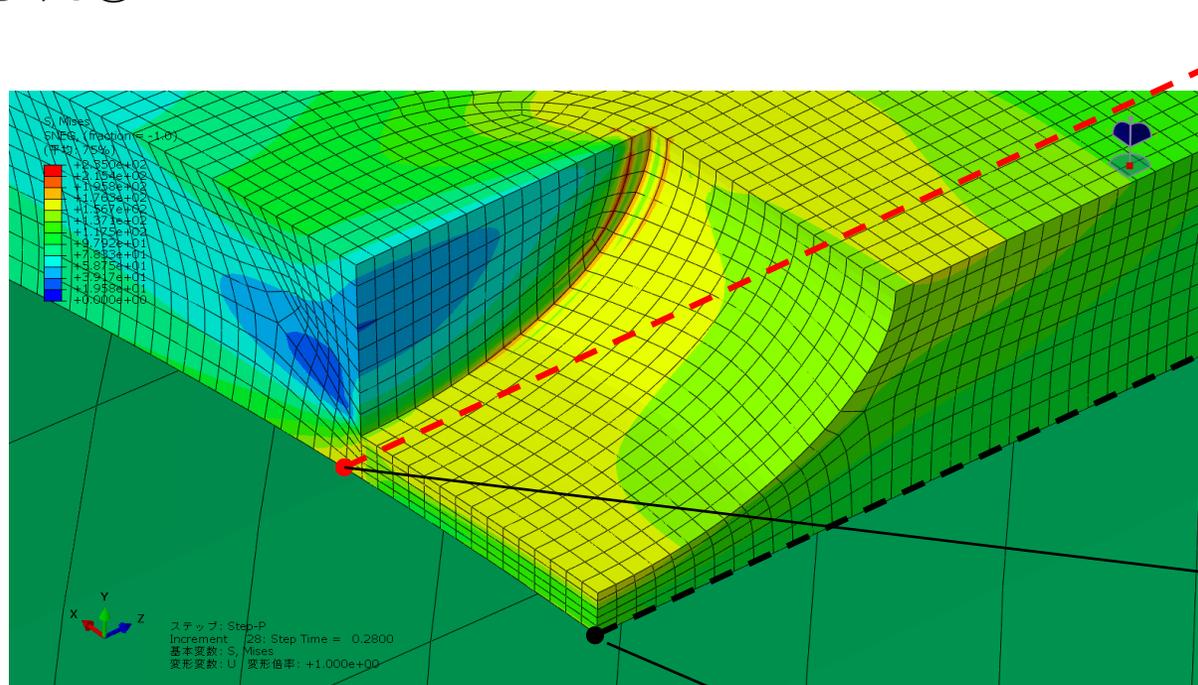


管軸方向のMises応力分布 (減肉中央を0)

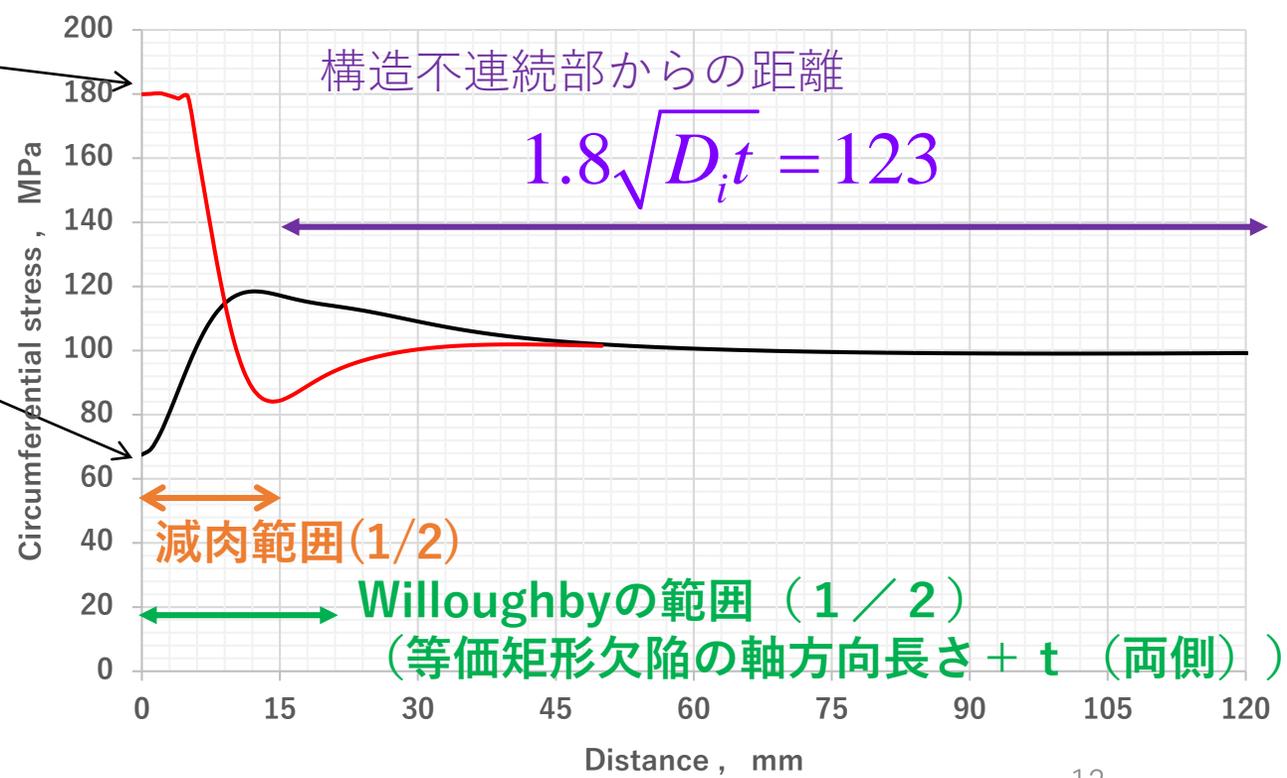


- ✓ 構造不連続部からの距離  $1.8\sqrt{D_i t}$  は減肉部の影響範囲 (有効補強範囲) とは無関係と考える。
- ✓ Willoughbyの範囲は欠陥を矩形で考えていることの違いはあるが本ケースでも妥当と考える。
- ✓ いずれにしても減肉部の応力をAPI法のように  $111.1 \text{ N/mm}^2$  と小さく見積もるのは適当ではない。

事例①-1 350°C 内圧P=4.20MPa (API法MAWP=4.15MPa)



管軸方向の周方向応力分布 (減肉中央を0)

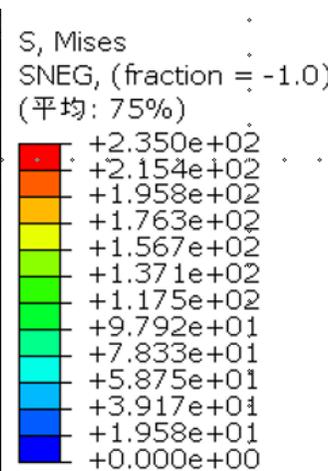
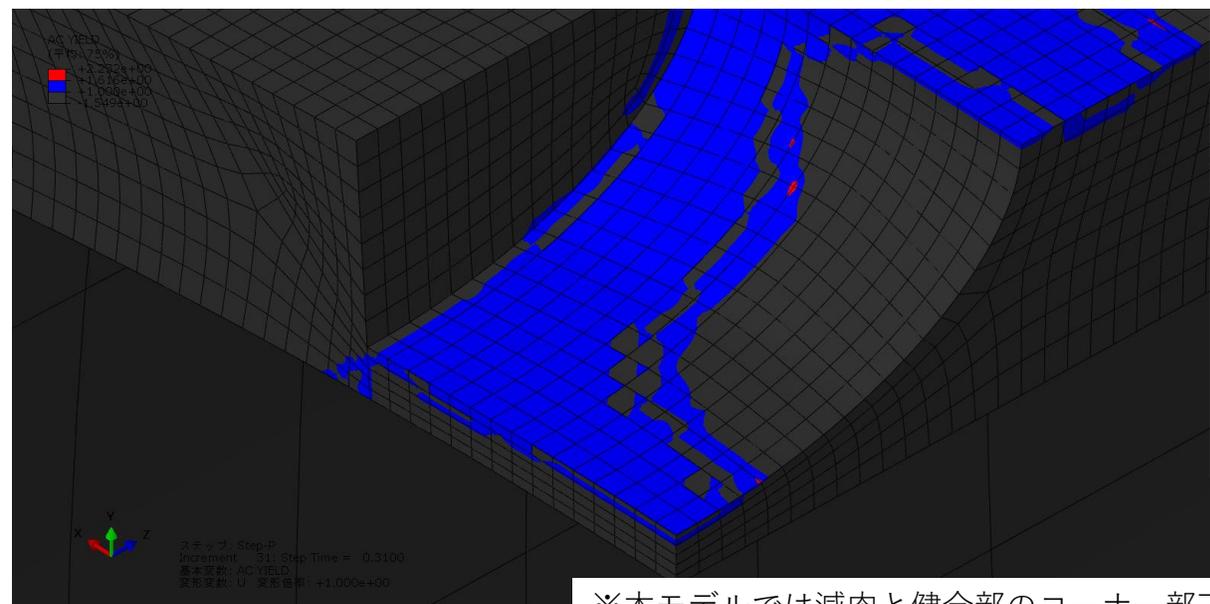


※考察は前スライドと同じ

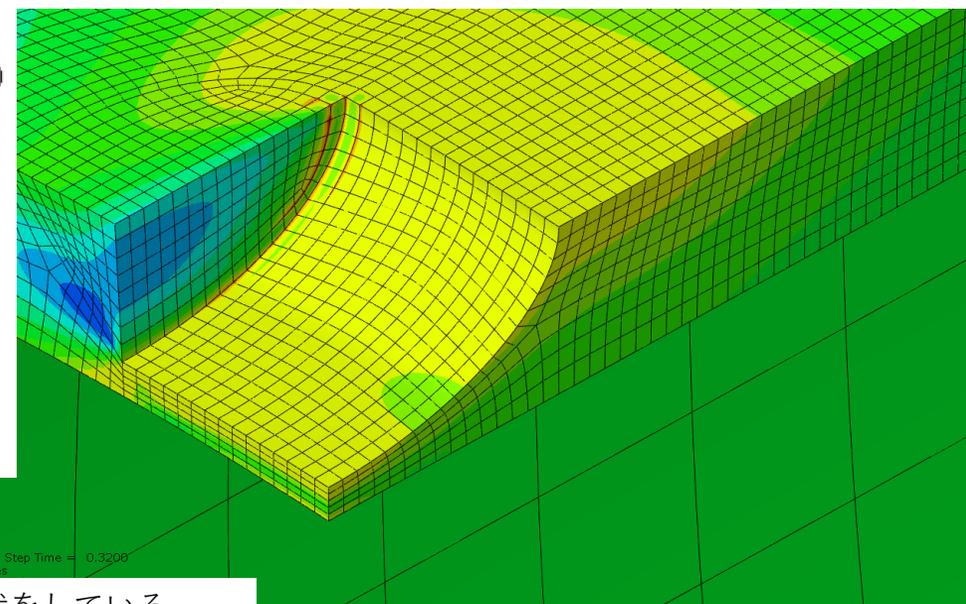
- ✓ 構造不連続部からの距離  $1.8\sqrt{D_i t}$  は減肉部の影響範囲 (有効補強範囲) とは無関係と考える。
- ✓ Willoughbyの範囲は欠陥を矩形で考えていることの違いはあるが本ケースでも妥当と考える。
- ✓ いずれにしても減肉部の応力をAPI法のように  $111.1\text{N/mm}^2$  と小さく見積もるのは適当ではない。

# 事例①-1 350°C 内圧P=4.65MPa (全断面降伏)

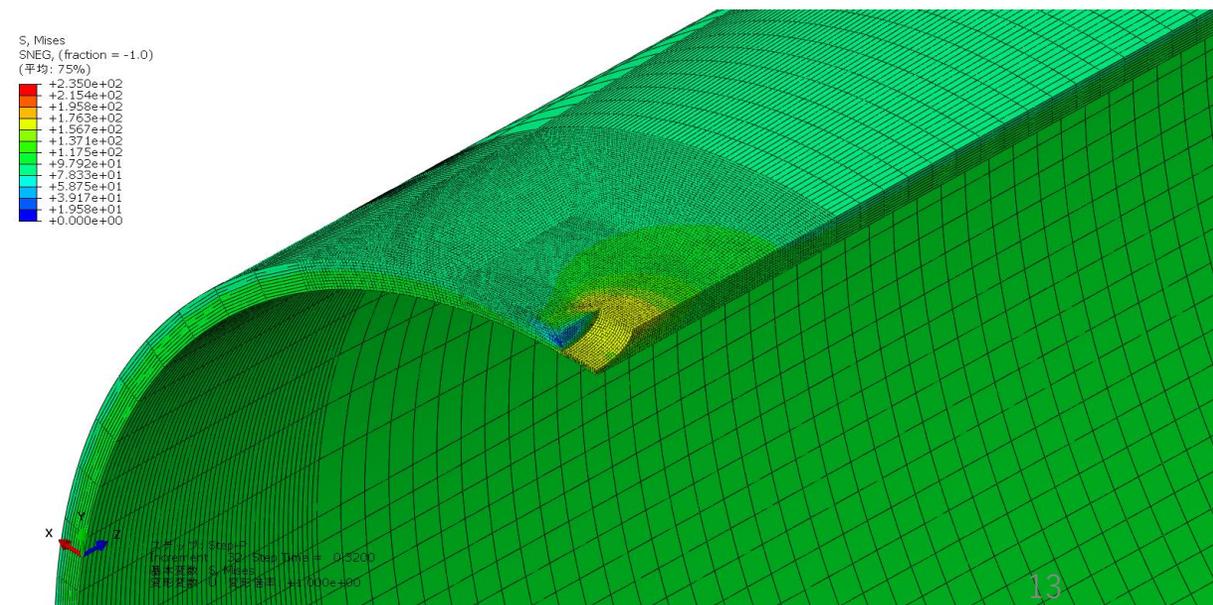
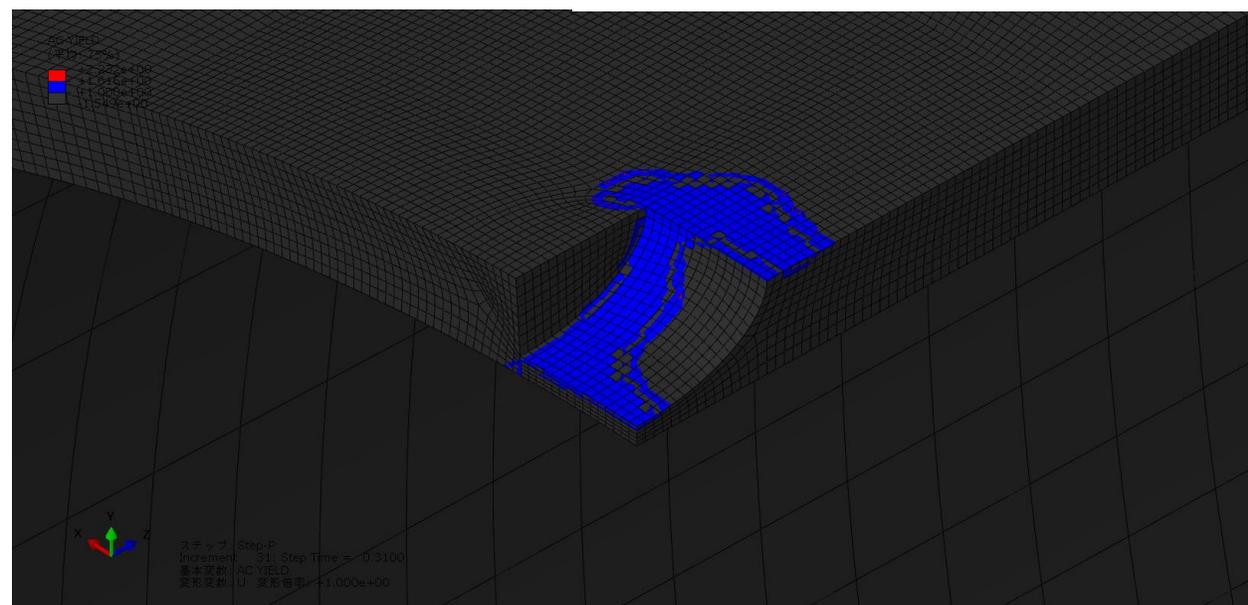
塑性域 (青色)



Mises応力



※本モデルでは減肉と健全部のコーナー部下部が最初に全断面降伏をしている。



# 事例①ー 2 (内半径234.5mm 減肉長さ300mm)

- 各評価法の算定応力と実際の応力(FEM@350°C)

p-M法	API法	FEM解析
164N/mm <sup>2</sup> @0.86MPa	111.1N/mm <sup>2</sup> @2.1MPa	164N/mm <sup>2</sup> @1.8MPa

- API法 (WES2820) は減肉部の応力を実際より低く算定(40~350°C)
- 350°CではFEM全断面降伏圧1.8MPa < API法再定格後許容圧力2.1MPa  
→API法の規格ユーザは全断面降伏 (降伏点ベース) に気づかない恐れ

- API法 (WES2820) の評価：設計圧力(MAWP)4.14MPaで使用不可  
再定格を行い2.1MPaで使用可 (40~350°C)  
2.1MPaで周方向応力  $\sigma_c = 111.1\text{N/mm}^2 (= \text{許容引張応力 } \sigma_{a_{40-350^\circ\text{C}}}/0.9)$
- p - M法の評価：設計圧力(MAWP)4.14MPaでは使用不可  
40°Cでは0.82MPaで使用可 ( $\sigma_{ys_{40}}/1.5 = 156.6\text{N/mm}^2$ )  
350°Cでは0.57MPaで使用可 ( $\sigma_{ys_{350}}/1.5 = 109.3\text{N/mm}^2$ )

# 事例①— 2 円筒減肉解析

減肉円筒容器のFEM解析

材料：SPV235

降伏点（特定則別添1：SPV235）

：164MPa@350℃、235MPa@40℃

内半径：234.5mm

縦弾性係数（特定則の炭素鋼の値）

：179GPa@350℃、201.8GPa@40℃

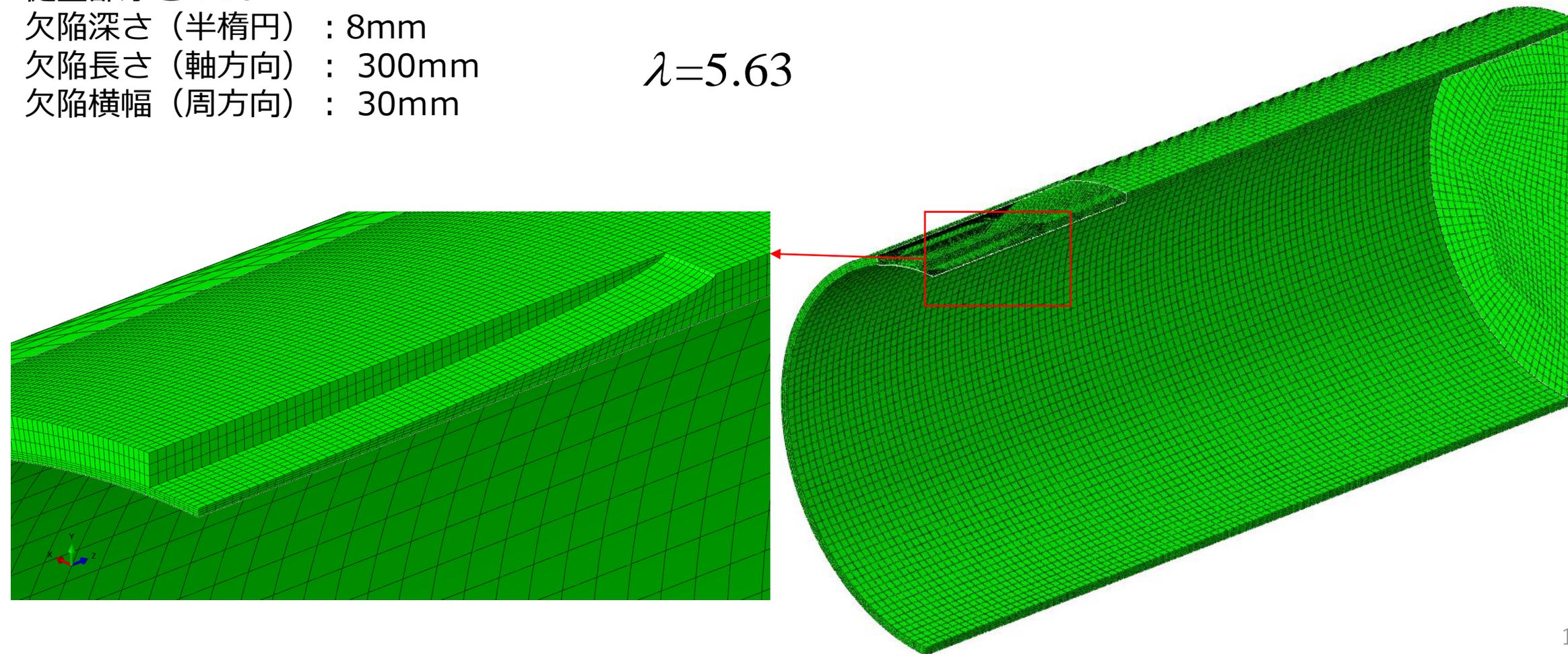
健全部厚さ：10mm

欠陥深さ（半楕円）：8mm

欠陥長さ（軸方向）：300mm

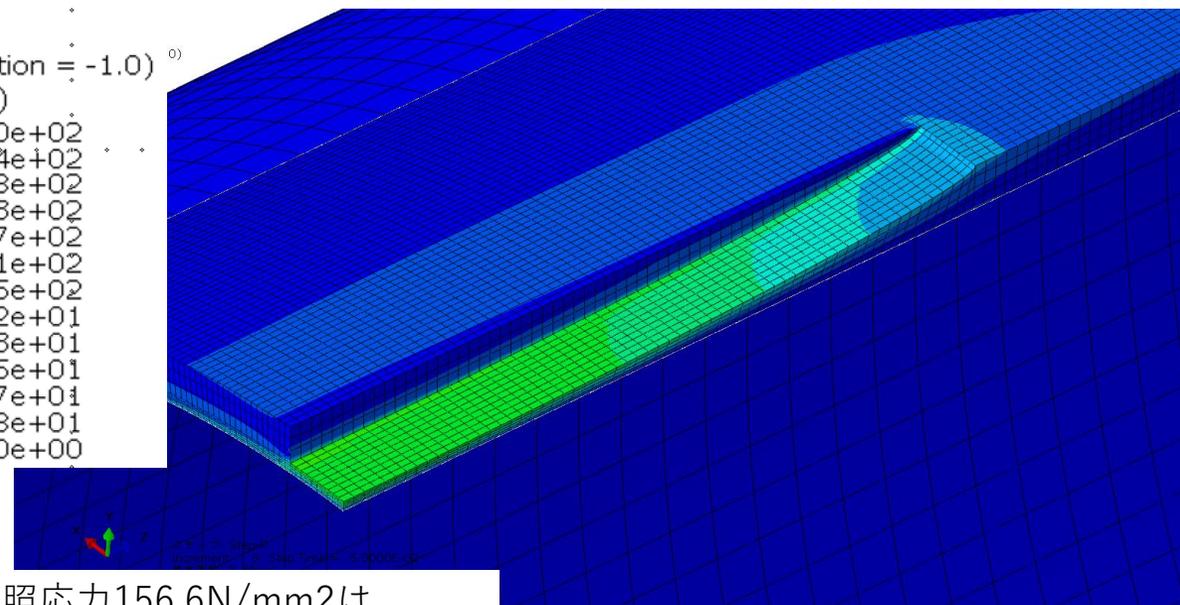
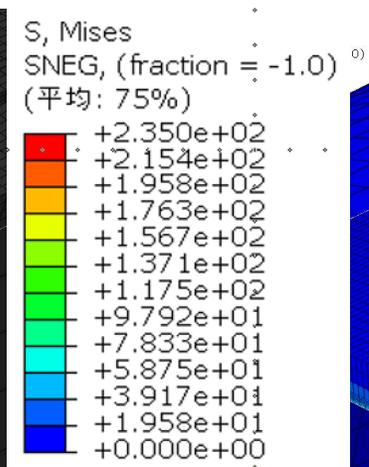
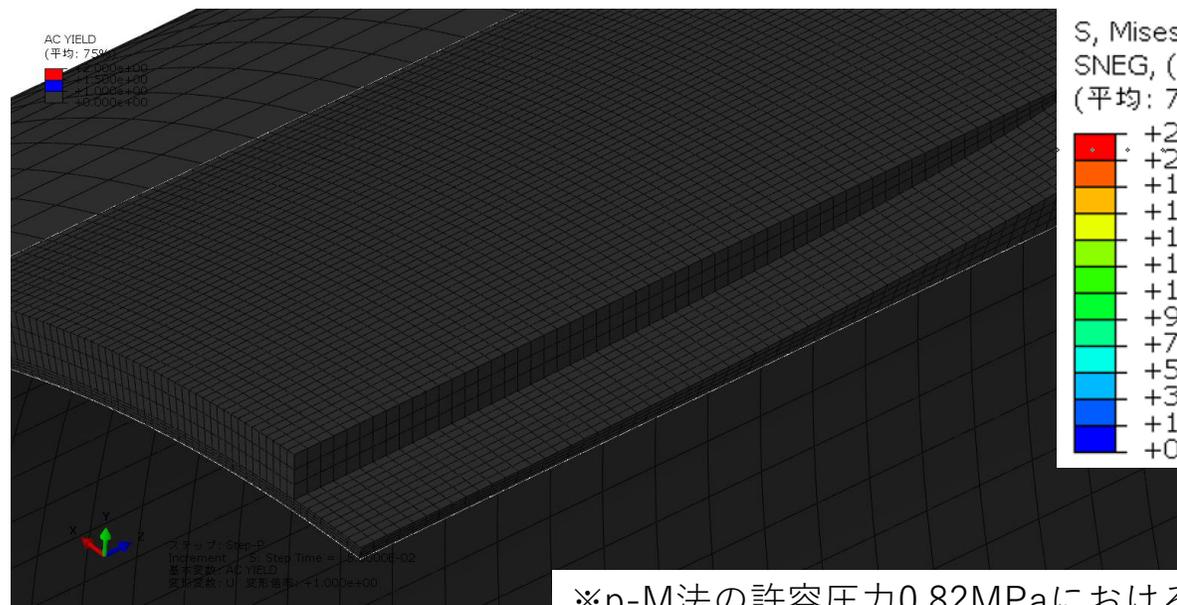
欠陥横幅（周方向）：30mm

$$\lambda = 5.63$$

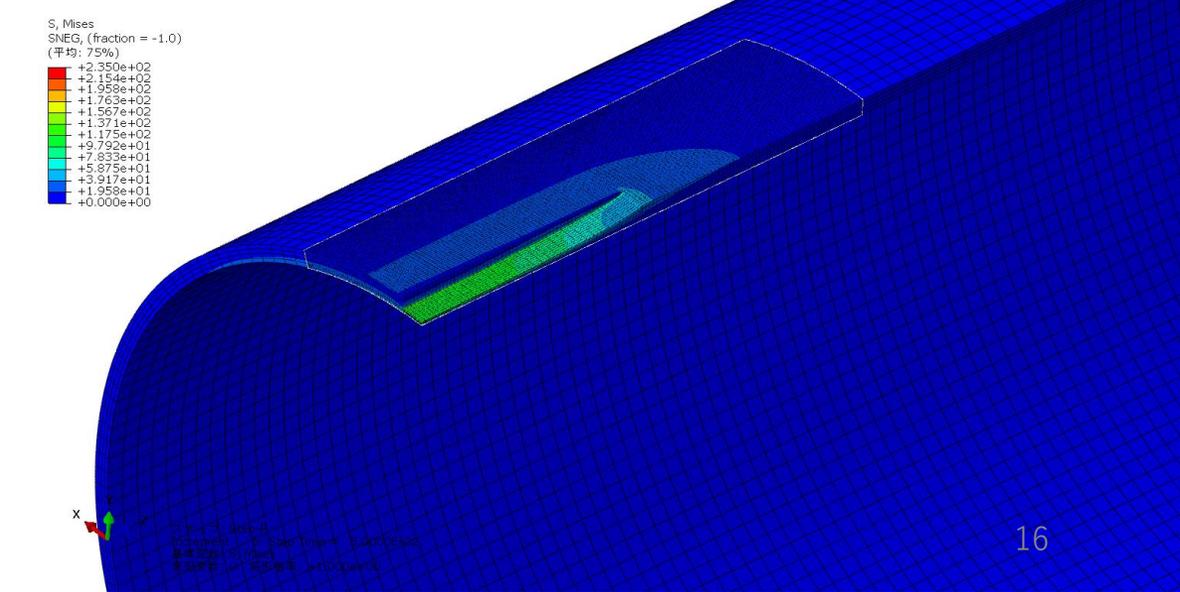


塑性域 (青色)

Mises応力

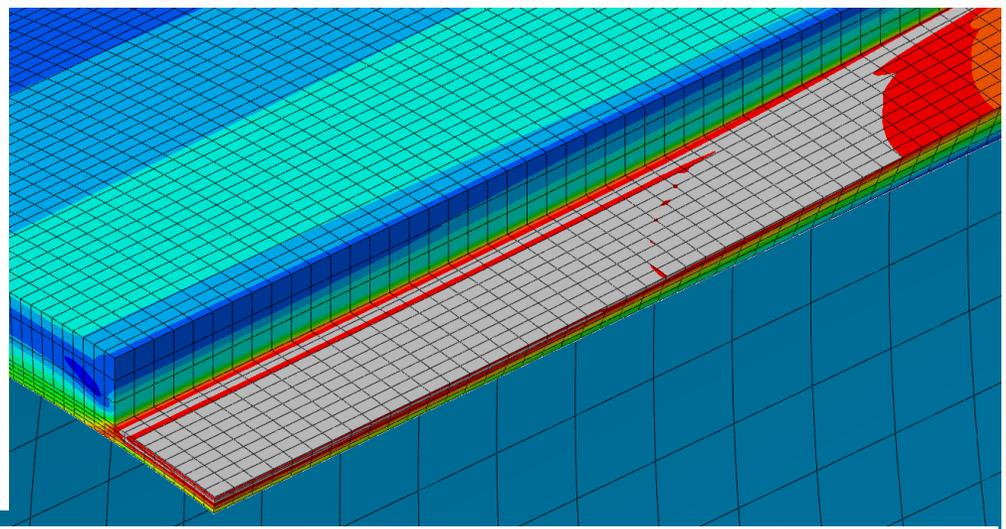
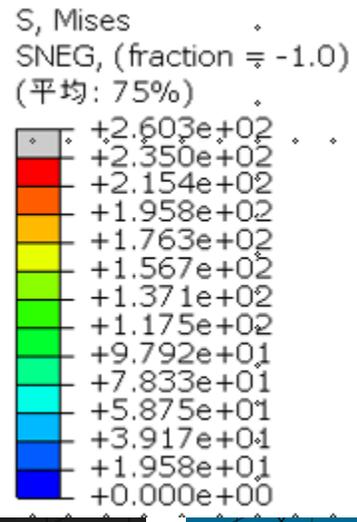
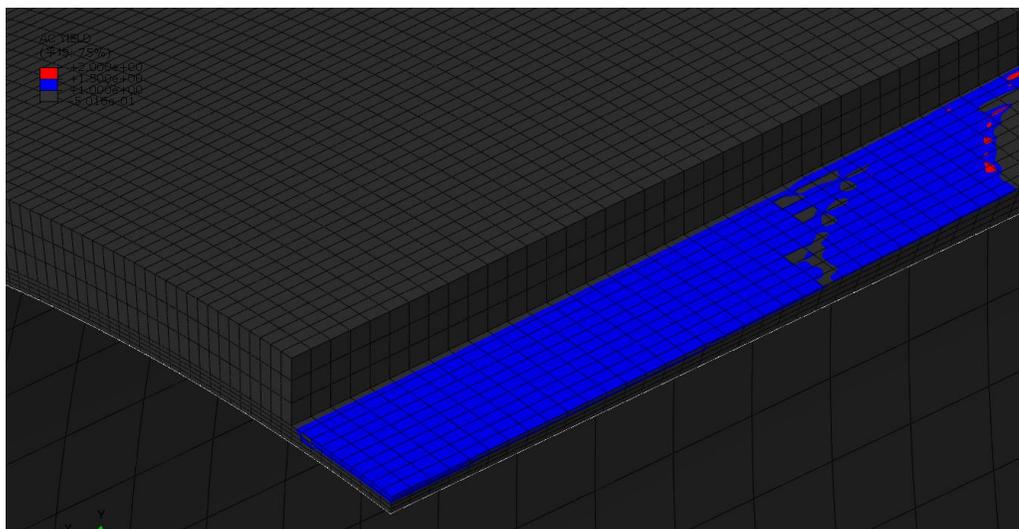


※p-M法の許容圧力0.82MPaにおける参照応力156.6N/mm<sup>2</sup>は、FEM解析結果からも妥当な値であり、減肉の断面は弾性域である。



塑性域 (青色)

Mises応力



青い部分は塑性域であり、かなり進行している。

※濃い赤色と灰色部分は塑性域であり、減肉部の断面はかなり塑性化が進行している。API法の算定応力111.1N/mm2はかなり小さい評価である。

